

**Список литературы:** 1. *Большаков В.И., Ленский А.И., Скичко П.Я.* Исследование режимов работы вертикальных валков слябинга завода "Запорожсталь" // Сталь. – 1966. – №3. С.239-242. 2. *Крот П.В.* Параметрические колебания в прокатных станах // В кн.: Сборник научных трудов НГУ. – Днепропетровск: Нац. горный университет. – 2002. – №13. – том 3. – С.15-21. 3. Трансмиссии приводов металлургических машин. Труды ВНИИМЕТМАШ. М. – 1975. – № 38. 4. *Волков Д.П., Каминская Д.А.* Динамика электромеханических систем экскаваторов. М., "Машиностроение", 1971. – 382с. 5. *Ключев В.И.* Ограничение динамических нагрузок электропривода, М., "Энергия", 1971. – 320с. 6. *Чудновский Ю.Д.* Динамические проблемы мощных многодвигательных электроприводов // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2005. – №5. – С.22-27. 7. *Целиков А.И., Житомирский Б.Е., Майоров А.И.* Опыт применения сумматорных приводов в металлургическом машиностроении // Вестник машиностроения. – 1971. – №6. – С.30-33. 8. *Лобода В.М., Пасальский В.М., Перлина Ф.А.* Математическая модель многодвигательного привода поворота конвертера // Металлургическое машиноведение и ремонт оборудования. – М.: Металлургия. – 1979. – №6. – С.49-52. 9. Экспериментальное исследование нагрузок в многодвигательном приводе наклона конвертера с редуктором опорой / *В.И. Большаков, В.И. Хоменко и др.* // Металлургическая и горнорудная пром-сть. – 1993. – №3. – С.56-59. 10. *Ван С.М.* Расчет нелинейных переходных крутильных колебаний зубчатых передач // Труды Американского общества инженеров-механиков. Сер. Конструирование и технология машиностроения. – 1974. – Т.96. – №3. – С.334-344. 11. *К. Ичимару, Ф. Хирано* Динамика высоконагруженных цилиндрических передач // Труды Американского общества инженеров-механиков. Сер. Конструирование и технология машиностроения. – 1974. – Т.96. – №3. – С.410-418. 12. *Волженская А.М.* Эвольвентная передача с регулируемым боковым зазором с постоянным межцентровым расстоянием. – М.: ГОСИНТИ. – Вып.4. – 1962. – С.3-14. 13. Расчет механических систем приводов с зазорами // *В.Л. Вейц, А.Е. Кочура, Г.В. Царев.* – М.: Машиностроение. – 1979. – 183с.

*Поступила в редколлегию 15.04.09*

УДК 621.833.3

**В.С. НАДЄЇН**, канд. техн. наук, КНТУ, ВФ "АСТРА", Кіровоград

### **СИНТЕЗ ВЕРСТАТНИХ ЗАЧЕПЛЕНЬ ДЛЯ ФОРМОУТВОРЕННЯ АКТИВНИХ ПОВЕРХОНЬ ЛАНОК ЧЕРВ'ЯЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ ЖОРСТКОЮ НЕ КОНГРУЕНТНОЮ ВИРОБНОЮ ПАРОЮ**

В работе изложена методика синтеза станочных зацеплений для формообразования сопряженной червячной передачи жесткой неконгруэнтной производящей парой.

In the robot the synthesis technique machine tool gearings for form-building the interfaced worm gear rigid incoincident is stated by the making pair.

**Постановка проблеми.** Черв'ячні передачі знайшли широке використання в машинобудуванні завдяки притаманним їм позитивним властивостям. Але з ростом потужності робочих процесів машин і швидкості їх виконання суттєво зросла навантаженість передатних механізмів їх робочих органів. В цих умовах гостро проявилися негативні властивості черв'ячного зачеплення, такі як знос із-за поганих умов змащування і великій швидкості ковзання кон-

такуючих поверхонь, чутливість до похибок виготовлення, деформацій та інші.

Аналіз технічних характеристик черв'ячних редукторів провідних виробників, таких як НТЦ "Редуктор" (Росія), фірм "Flender", "Sew-Eurodrive" (Німеччина), "SITI S.p.a", "Bonfiglioli" (Італія) свідчать про те, що навантажувальна здатність редукторів в середньому перевищує аналогічні показники редукторів 30-річної давності на (10...15) %, а швидкість черв'яка яка була  $n_{\max} = 1500 \text{ x } \text{с}^{-1}$ , так залишилась. З цього витікає, що ті новітні досягнення теорії черв'ячного зачеплення і практики його виробництва (що нав'язливо і настійно рекламуються в каталогах) не дозволяють суттєво підняти технічний рівень черв'ячних редукторів.

Вказаний рівень технічних характеристик не можна признати як такий, який дозволяє вимогам сучасного машинобудування. Якщо зважити на те, що в такому стані знаходиться і виробництво черв'ячних редукторів в Україні, а суттєве підвищення технічних характеристик черв'ячних редукторів дасть змогу вийти на провідне місце на світовому ринку приводної техніки, то комплексне вирішення цього питання є науково-виробничою проблемою в машинобудуванні.

**Аналіз способів** підвищення навантажувальної черв'ячної передачі показав наступне.

Відомо, що поле зачеплення черв'ячної передачі за показниками, які визначають навантажувальну здатність контактної площадки активних поверхонь витка черв'яка і зубців черв'ячного колеса, змінні, і залежать від положення цієї площадки на полі зачеплення. Для усунення контакту активних поверхонь на несприятливих зонах поля зачеплення А.Н.Грубін запропонував поверхню зубця черв'ячного колеса зрізати на вхідній зоні поля зачеплення [1]. Цю пропозицію слід вважати першим способом локалізації контакту в зачепленні черв'ячних передач. Значне зменшення міцності зубців колеса на згин, технологічна складність і трудомісткість виготовлення стали причиною нерозповсюдження такого способу локалізації контакту. Але черв'ячні передачі, виконані у такий спосіб, мали значно вищий ККД.

Для усунення недоліків такого способу локалізації контакту А.І. Назаренко було запропоновано локалізувати контакт в черв'ячній передачі шляхом нарізування черв'ячного колеса черв'ячною фрезою, діаметр якої перебільшує діаметр черв'яка, парного до черв'ячного колеса [2]. Єдиною вимогою до поверхонь зубців колеса і витків черв'яка було належність їх до евольвентних, тобто лінійчатих, поверхонь для забезпечення спряженості зачеплення і забезпечення сталості закону передачі руху.

Використовуючи умову перебільшення діаметра черв'ячної фрези діаметра черв'яка передачі, було запропоновано багато способів локалізації контакту. Теоретичним обґрунтуванням їх можна вважати роботу [3]. В цій роботі доведено, що спосіб, запропонований в [2], може бути поширеним на

черв'ячні передачі з любим видом гвинтової поверхні. Але для того, щоб черв'ячна передача при неевольвентній гвинтовій поверхні черв'яка була спряженою, необхідно, щоб виробна поверхня черв'ячної фрези, яка заміняє поверхню черв'яка, відповідним чином цій поверхні відповідала. Знаходження цієї поверхні і її виготовлення – складні і теоретична, і виробнича задачі, тому черв'ячні передачі з неевольвентним черв'яком і локалізованим контактом є не спряженими і потребують досить довгого припрацювання.

Аналіз способів контакту в черв'ячному зачепленні, розглянутих в [2], і подібних, дозволяє зробити такі, загальні для всіх способів висновки:

- локалізація зони контакту в заданій частині поля зачеплення здійснюється шляхом модернізації виробної поверхні черв'ячної фрези;
- поверхня витка робочого черв'яка залишається незмінною, тому і кінематична схема її формоутворення теж не змінюється;
- кінематична схема формоутворення поверхні зубця черв'ячного колеса черв'ячною фрезою з модифікованою виробною поверхнею змінюється шляхом зміни міжосьової відстані і кута перехрещення осей фрези і черв'ячного колеса ;
- спряженні поверхні ланок черв'ячної передачі з локалізованим контактом утворенні не за другим способом Олів'є-Гохмана;
- поверхня зубця черв'ячного колеса, утворена модифікованою виробною поверхнею черв'ячної фрези, розташовано всередині тіла зубця теоретичного колеса, тобто "деформована" відносно деякої розрахункової точки поля зачеплення у внутрішню сторону;
- оскільки модифіковану виробну поверхню черв'ячної фрези при кутах підйому витка більших  $8^\circ$  і багатовиткових виготовити з достатньою точністю неможливо, передачі потребують досить тривалого припрацювання;
- керувати параметрами локалізованої зміни контакту вказаним способом неможливо.

Якщо зважити на те, що похибки виготовлення ланок черв'ячного редуктора суттєво впливають на навантажувальну здатність зачеплення, то стає зрозумілим, що однієї локалізації зони контакту для суттєвого підвищення технічного рівня черв'ячних редукторів недостатньо.

Тому **метою** даної роботи є створення методики синтезу верстатних зачеплень для формоутворення активних поверхонь ланок черв'ячної передачі з локалізованим контактом, яка дозволить усунути недоліки існуючих способів і дозволить підвищити технічні характеристики редуктора.

**Одне з можливих рішень** цієї важливої проблеми є таким.

За вихідну для перетворення її у відповідному до мети роботи черв'ячну передачу візьмемо передачу, складену з евольвентного циліндричного черв'яка і евольвентного косозубчастого колеса. Така передача має, як і все гвинтові евольвентні передачі, багато недоліків, але позитивним для неї є те, що евольвентні активні поверхні її ланок можна обробити прямобічною рей-

кою, лінія зачеплення в передачі є прямолінійна твірна активних поверхонь.

Для зменшення ступеня локалізації контакту активні поверхні ланок необхідно "деформувати" в зовнішню сторону. Але при "деформації" активних поверхонь необхідно дотримуватись таких умов:

1) черв'ячна передача з "деформованим" в зовнішню сторону поверхнями її ланок повинна бути спряженою, тобто закон руху механізму відповідає умові  $i = const$  ;

2) інструменти з допомогою яких буде виконуватись "деформація" активних поверхонь, повинні бути технологічними;

3) кінематичні схеми формоутворення "деформованих" активних поверхонь ланок у верстатних зачепленнях повинні бути реалізовані шляхом нескладної модернізації верстатів.

Перша умова буде виконана абсолютно точно, якщо в передачах вихідний і преобразований буде одна і та ж лінія зачеплення і однакові активні діючі лінії. Щоб залишити незмінним активні діючі лінії, "деформування" поверхні вихідної евольвентної передачі необхідно вести наступним чином.

Евольвентний черв'як можна обробити прямо бічною прямозубою рейкою. Формоутворюючими будуть обертовий рух черв'яка навколо своєї осі і прямолінійний поступальний рух рейки, перпендикулярний до лінії її зуба. Ту ж саму поверхню черв'яка більш технологічно обробляти дисковим інструментом, виробна поверхня якого має угнутий профіль, параметри якого залежить від параметрів черв'яка. Якщо замість дискового інструмента з угнутим профілем поверхню черв'яка обробити дисковим інструментом з конічною виробною поверхнею (ДКІ), то при однакових формоутворюючих рухах поверхня витка, оброблена ДКІ, розташовується зовні вихідної, тобто буде "деформована" у зовнішню сторону. Але черв'як, оброблений ДКІ, буде нелінійчатим ЗКІ черв'яком, і з евольвентним косозубчастим колесом вихідної передачі спряжену передачу утворювати не буде.

Косозубчасте евольвентне колесо (КЕК) вихідної передачі можна обробити рейкою, або її "геометро-кінематичним образом", як називав черв'ячну фрезу проф. В.А.Гавриленко. Поверхня зубця КЕК є обвідною виробної поверхні черв'ячної фрези з двома незалежними параметрами руху – обертального, який утворює характеристику поверхні зубця в обкатному русі, і поступального, який переносить характеристику вздовж осі колеса. Якщо поступальний рух зупинити, а нарізати колесо тільки з радіальним врізанням то отримаємо черв'ячне колесо. Поверхня зубця цього колеса буде неевольвентною (КН), хоча виробна поверхня фрези – евольвентний гелікоїд. Поверхня зубця КН буде "деформована" відносно поверхні зуба КЕК у зовнішню сторону відносно активної діючої лінії. Але КН не буде утворювати з черв'яком ЗКІ спряжену передачу, так як рух ДКІ при обробці черв'яка ЗКІ спрямований вздовж осі черв'яка. Для того щоб передача була спряжена, необхідно, як це виходить з рисунку 1, збіг формоутворюючих рухів обох верстатних зачеп-

леннях, якщо їх сумістити з зачепленням робочим. Збіг буде тільки в тому випадку, коли напрямки обох формоутворюючих рухів буде спрямований по лінії зачеплення вихідної передачі.

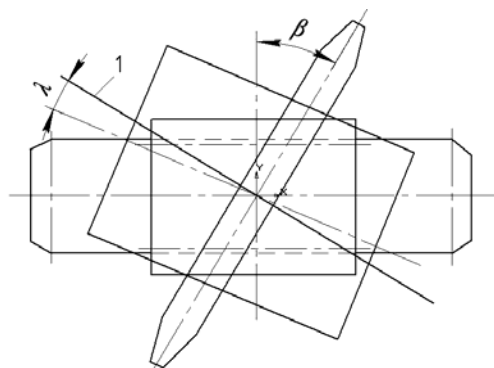


Рисунок 1 – Суміщені верстатні і робоче зачеплення

Ця умова накладає вимогу на виробні поверхні, відповідно до якої вони повинні бути між собою жорстко зв'язані.

Поверхню витка черв'яка, яка оброблена ДКІ при вказаному її русі назовемо її ZKN, відрізняються від поверхні витків черв'яка ZK1 тим, що на ній активна діюча лінія буде така ж, як і на поверхні вихідного евольвентного черв'яка. Крім того, поверхня витків черв'яка ZKN не є гелікоїдом, бо є змінні вздовж осі профіль і крок.

Вказані вище міркування і перетворення можна провести і для вихідної черв'ячної передачі, складеної з евольвентно-конічних черв'яка і колеса. Наявність конічних початкових поверхонь дозволяє керувати геометричними характеристиками активних поверхонь черв'яка і черв'ячного колеса, що є дуже важливим. Самі верстатні зачеплення для формоутворення активних поверхонь потребують, в порівнянні з існуючими, за рахунок нескладної модернізації зміни напрямку формоутворюючих рухів.

Незважаючи на те, що контакт в новій передачі точковий, геометро-кінематичні показники навантажувальності її суттєво вищі, ніж у класичних черв'ячних передачах [4].

Можливості керування показниками навантажувальності показана на рисунку 2.

Вказаний спосіб локалізації контактна в черв'ячній передачі заснований на розробленому Я.С.Давидовим способі утворення спряжених поверхонь за допомогою жорсткої неконгруентної виробної пари [5].

Таким чином, з наведеного вище витікають такі **висновки**:

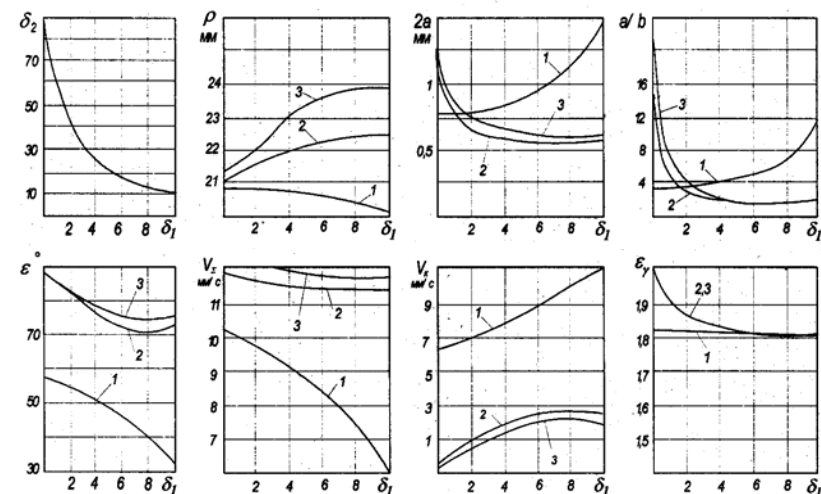


Рисунок 2 – Вплив параметрів передачі на геометро-кінематичні показники навантажувальності зачеплення (1.  $\beta = \gamma$ ; 2.  $\beta < \gamma$ ; 3.  $\beta > \gamma$ .)

1. Жорстка неконгруентна виробна пара для створення спряженої черв'ячної передачі повинна складатися з черв'ячної фрези з евольвентною виробною поверхнею і дискового інструмента з конічною виробною поверхнею і виконувати загальний формоутворюючий рух в напрямку загальної нормалі до спряжених поверхонь.

2. Показниками навантажувальності зачеплення можна легко керувати, чого не дозволяють інші способи локалізації контакту.

3. Дискові інструменти з виробною поверхнею, відмінною від конічної, не можуть створити спряжену черв'ячну передачу, колесо якої оброблено евольвентною черв'ячною фрезою

**Список літератури:** 1. Грубин А.И. Червячное зацепление. – М.: Оргаметал, 1936. – 183с. 2. Назаренко Л.Н. О некоторых случаях точечных (тепа зональных) и линейных зацеплений, нарезаемых червячной фрезой. – Научно-технический бюллетень ЛПИ. – Л.: Машиностроение, 1958. – №6. 3. Литвин Ф.Л., Рыбаков В.И. Локализация пятна контакта в цилиндрических червячных передачах. – Известия ВУЗов. Машиностроение, 1974. – №8. – С.57-61. 4. Надеин В.С., Боголюбов С.В. Направление совершенствования червячных передач. – Міжнародний науково-технічний збірник. – Харків : ХПІ, 2005. – №40. – С.159-169. 5. Давыдов Я.С. Незвольвентное зацепление, – М.: Машгиз, 1950. – 180с.

Поступила в редколлегию 25.04.09